DIE NATURWISSENSCHAFTEN

16. Jahrgang | 10. August 1928 | Heft 32

Ferdinand Braun zum Gedächtnis[1].

Von L. MANDELSTAM und N. PAPALEXI, Moskau.

Am 20. April 1918 verschied nach schwerem Leiden in Amerika Prof. Dr. FERDINAND BRAUN. In ihm hat die Physik und die physikalische Technik einen Forscher verloren, der auf vielen Gebieten fördernd und namentlich auf dem Gebiete der elektrischen Schwingungen bahnbrechend gewirkt hat. FERDINAND BRAUN gilt mit Recht als einer der Schöpfer der drahtlosen Telegraphie. In Anerkennung dieser Tatsache wurde ihm eine hohe Ehre zu teil: im Jahre 1909 wurde der Nobelpreis für Physik ihm und G. MARCONI zuerkannt. Sein Werk lebt fort und seine Ideen wirken nach auch in der Entwicklung der modernen Radiotelegraphie.

Einer Aufforderung des Herausgebers dieser Zeitschrift nachkommend, geben wir hier einen kurzen Abriß seines Werkes.

Der Interessenkreis von F. BRAUN war außerordentlich umfangreich und entsprechend vielseitig war seine wissenschaftliche Tätigkeit, die sich auf alle Gebiete der Physik erstreckte. Es ist nicht möglich, in diesem Aufsatz eine einigermaßen erschöpfende Darstellung der von ihm erhaltenen Resultate zu geben, selbst wenn wir uns nur auf die wichtigsten beschränken würden. Ausführlicher wollen wir daher nur sein Werk auf dem Gebiete der elektrischen Schwingungen besprechen, bei dem es uns vergönnt war, mehrere Jahre unter seiner unmittelbaren Leitung und als seine Assistenten mitzuarbeiten. Es ist freilich unerläßlich, auch eine Anzahl seiner übrigen Arbeiten zu streifen. Schon in seinen frühen Untersuchungen, die lange vor der drahtlosen Telegraphie entstanden sind, finden sich die Keime für wichtige Entwicklungen dieses Gebietes. Wieder andere der von BRAUN erhaltenen Resultate sind zu bleibenden Bestandteilen der allgemeinen Physik geworden und manche der von ihm aufgeworfenen Fragen und Fragestellungen haben befruchtend gewirkt und zum Teil ihr Interesse bis heute behalten.

Eines dieser Probleme war die Aufklärung der Vorgänge in galvanischen Elementen. F. BRAUN war derjenige, der den prinzipiell richtigen Weg zur Berechnung der elektromotorischen Kraft aus thermischen Daten gewiesen hat. Vor ihm glaubte man, daß die EMK der galvanischen Elemente allein aus der Wärmetönung der chemischen Prozesse zu berechnen sei. Die Unzulänglichkeit dieser Annahme zeigte BRAUN einerseits durch gewisse theoretische Überlegungen und außerdem durch eingehende Messungen, die auch heute noch von Wert sind. Die EMK kann einen größeren oder kleineren Wert haben, als er sich aus der Wärmetönung berechnet. Um hier Klarheit zu gewinnen, muß der zweite Hauptsatz herangezogen werden. BRAUNS erste diesbezügliche Arbeit stammt aus dem Jahre 1878. Im Jahre 1882 hat dann HELMHOLTZ das Problem unter Einführung des Begriffes der freien Energie in der bekannten Art behandelt.

BRAUN war ferner der erste, der bei galvanischen Ketten die Druckabhängigkeit der EMK untersuchte. Dieses spezielle Problem wurde von R. GANS im Straßburger Institut in seinen Grundlagen abgeschlossen. Für BRAUN gab die Beschäftigung mit diesen Dingen die Anregung zur Aufstellung des sog. LE CHATELIER-BRAUNschen Prinzips, eines bekannten Satzes, dessen Gültigkeitsbereich nicht in vollem Umfange aufrechterhalten werden konnte.

Im Jahre 1891 entdeckte BRAUN eine neue elektrolytische Erscheinung, die er als Elektrostenolyse bezeichnete. Schickt man durch gewisse Elektrolyte (z. B. Silbernitratlösung) einen Strom hindurch, der durch einen sehr engen Spalt in einer isolierenden Scheidewand fließen muß, so findet am Spalt unter Umständen eine Metallabscheidung statt. Diese merkwürdige Erscheinung, deren vollständige Erklärung wohl noch aussteht, wurde von BRAUN eingehend untersucht. Im Anschluß an diese Arbeiten und an Untersuchungen BEQUERELS hat BRAUN weiter „elektrocapillare" Reaktionen verfolgt. Es sind dies Reaktionen zwischen zwei Lösungen, die durch eine poröse Wand getrennt sind und die durch die Poren der Trennungsschicht ineinander diffundieren.

Um dieselbe Zeit beschäftigte sich BRAUN mit den Erscheinungen, die bei Tropfelektroden auftreten. Er weist nach, daß der von PELLAT gezogene Schluß, es sei keine Potentialdifferenz zwischen einem Metall und einer Lösung eines seiner Salze vorhanden, falsch ist. Er stellt Betrachtungen an über chemische Zersetzungen, die durch das Eintropfen von Quecksilber in Flüssigkeiten hervorgerufen werden: man würde jetzt von durch Adsorption bewirkten Zersetzungen sprechen. Im Zusammenhang sei weiter erwähnt, daß er wohl als erster die Beziehung formuliert hat, die zwischen der Volumänderung bei der Auflösung eines Salzes in seiner gesättigten Lösung und der Abhängigkeit der Löslichkeit vom Drucke besteht und daß er diese Beziehung thermodynamisch begründet hat. BRAUN hat ferner die interessante Tatsache festgestellt, daß die Kompressibilität von Wasser, indem gewisse Salze gelöst sind, kleiner ist als die von reinem Wasser.

Bei seinen Arbeiten kam es BRAUN immer vor allem auf die prinzipielle Seite an. Aber nicht nur seine Resultate und Fragestellungen sind interessant, sondern auch die Art seines Experimentierens.

[1] Die Veröffentlichung des Aufsatzes war für den 20. April d. Js. beabsichtigt, hat sich aber aus mannigfachen Gründen verspätet.

Er besaß ein außerordentliches Geschick und große Erfindungsgabe im Schaffen von Hilfsmitteln für das Experiment. Auf diese Weise entstanden Meßanordnungen und Apparate, die großes, selbständiges Interesse besitzen und Eingang in die physikalische Untersuchungs- und Meßtechnik gefunden haben. Um hier ein Beispiel zu nennen: In seiner Untersuchung über das elektrische Verhalten des Steinsalzes, bei der er Unterschiede der Dielektrizitätskonstante für verschiedene krystallographische Richtungen suchte, hat er ein einfaches Elektrometer beschrieben: das allbekannte BRAUNsche Elektrometer. Dieses sinnreich konstruierte Instrument zeichnet sich durch Einfachheit, Bequemlichkeit der Handhabung und durch kleine Kapazität aus.

Hierher gehört auch die BRAUNsche Röhre, die dem Physiker und Elektrotechniker so vertraute Kathodenstrahlröhre. Durch ihr praktisch trägheitsloses Funktionieren gibt sie die Möglichkeit, den zeitlichen Verlauf variabler Ströme und Spannungen bis zu außerordentlich hohen Frequenzen zu untersuchen. Diese von BRAUN gleich in seiner ersten Publikation betonte Eigenschaft seiner Röhre gibt ihr eine Sonderstellung unter allen oszillographischen Vorrichtungen. Für die schnellen Schwingungen, die in der Radiotechnik benutzt werden, ist die BRAUNsche Röhre das einzige Mittel, um den zeitlichen Verlauf im Detail zu untersuchen; als solches hat sie in den Händen BRAUNS und seiner Mitarbeiter viele Dienste geleistet. Durch Verwendung einer Glühkathode (WEHNELT) ist sie weiter vervollkommnet worden und ist heute ein unentbehrliches und vielbenutztes Hilfsmittel beim Arbeiten mit Wechselströmen aller Frequenzen.

Von BRAUNS Arbeiten, die nach ihrer Entstehung Bedeutung gewonnen haben für die drahtloseTelegraphie, sind außer dem eben genannten Beispiel vor allem zu nennen seine Untersuchungen über die Stromleitung durch gewisse schlechtleitende Krystalle. Bereits im Jahre 1874 beschreibt BRAUN die folgende, von ihm entdeckte Tatsache: schickt man einen elektrischen Strom durch Kupferkies, Schwefelkies, Bleiglanz, Fahlerz u. dgl., so beobachtet man, daß seine Stärke nicht proportional ist der EMK. Wenn dabei die Elektroden verschieden beschaffen sind, so hängt die Stromstärke auch von der Richtung der angelegten Potentialdifferenz ab. BRAUN hat beispielsweise bei seinen ersten Anordnungen Unterschiede der Stromstärke von 30% für entgegengesetzte Richtungen gefunden. Bei späteren Anordnungen waren die Unterschiede in der Stromstärke noch wesentlich größer, so daß man praktisch davon sprechen kann, daß der Strom nur in einer Richtung durchgeht. Diese Erscheinung, die eine Abweichung der Stromleitung vom Ohmschen Gesetz darstellt und die als unipolare Leitung bezeichnet wird, hat eine sehr wichtige Anwendung gefunden: auf ihr beruhen die von BRAUN erfundenen und in die Praxis der drahtlosen Telegraphie eingeführten Krystalldetektoren.

Abweichungen vom Ohmschen Gesetz spielen im Gebiete der elektrischen Schwingungen überhaupt eine ausgezeichnete Rolle. Nicht nur zum Nachweis der Schwingungen werden Leiter benutzt, bei denen der Strom der Spannung nicht proportional ist, sondern auch zu ihrer Erzeugung. Der Funke z. B. ist ein solcher Leiter, bei dem keine lineare Beziehung zwischen Strom und Spannung besteht, desgleichen der Lichtbogen, die Elektronenröhre. Man kann behaupten, daß jede neue Erscheinung oder neue Anordnung, die eine genügend ausgesprochene „Abweichung vom Ohmschen Gesetz" aufweist, zugleich eine neue Methode zur Erzeugung oder zum Empfang von Schwingungen ergibt. In diesem Zusammenhang ist es interessant, darauf hinzuweisen, daß BRAUN von seinen frühesten Arbeiten an mehrfach Vorgänge untersucht hat auf ihre Abweichung vom linearen Gesetz hin. (Außer den oben betrachteten noch: Unipolare Leitung in Gasen, Schwingungen belasteter Saiten, elastische Nachwirkungserscheinungen).

Mit den Problemen der drahtlosen Telegraphie beschäftigte sich BRAUN vom Jahre 1898 ab. Damals lag folgendes vor: im Jahre 1895 hatte A. POPOFF den Kohärer mit Klopfer und Relais in Verbindung mit einem Luftdraht (Empfangsantenne) zur Registrierung von Gewittern benutzt. In derselben Zeit hatte MARCONI Sendeversuche mit einem RIGHIschen Oszillator und daran gehängtem Luftdraht (Sendeantenne) angestellt. Zum Empfang benutzte er eine Anordnung, die wesentlich identisch war mit der POPOFFschen. Im Jahre 1897 ist es MARCONI gelungen, mit seiner Anordnung bei Spezia Entfernungen bis zu 15 km drahtlos zu überbrücken. Es zeigte sich bald, daß zur Erzielung größerer Reichweiten eine unverhältnismäßig viel stärkere Vergrößerung der Antennenhöhe notwendig war. So hat z. B. SLABY (1897) zur Überwindung einer Entfernung von 21 km über Land Luftdrähte von 300 m Länge verwandt, die von Luftballons getragen wurden. Auf diesem Wege, ohne Hinzufügung neuer Gedanken und ohne Erkenntnis der sich abspielenden physikalischen Vorgänge konnte offenbar die neue, glänzende Erfindung MARCONIS sich kaum weiter entwickeln.

Beides hat F. BRAUN geleistet: Er hat mit klarem Blick die prinzipielle Seite der Vogänge erkannt, die bei der verwandten Anordnung wirken, und er hat auf dieser Erkenntnis fußend, diejenigen Anordnungen geschaffen, die auch heute noch das Fundament der drahtlosen Telegraphie bilden. Man wird seine Leistungen wohl am besten übersehen, wenn man sich in diese erste Zeit zurückversetzt und die Entwicklung der drahtlosen Telegraphie vom historischen Standpunkt betrachtet.

Es ist dabei zweckmäßig, den Komplex der physikalischen Erscheinungen, die in der drahtlosen Telegraphie auftreten, in drei Gruppen einzuteilen, die selbstverständlich miteinander zusammenhängen, die aber trotzdem getrennt behandelt werden können:

1. Die Vorgänge im Sender.
2. Die Ausbreitung der elektrischen Wellen.
3. Die Vorgänge im Empfänger.

Wie stand es seinerzeit mit den Fragen der ersten Gruppe? Es war nicht einmal die Hauptfrage gelöst: mit welchen Wellenlängen oder Schwingungszahlen man es beim Marconisender zu tun hat. Es waren nämlich keine ausgebildeten Mittel vorhanden, um diese für die Radiotechnik so fundamentalen Größen zu messen. Man neigte zur Ansicht, daß man es beim Marconisender mit sehr kurzen Wellen zu tun hätte, die durch die Kugeln der Funkenstrecke als Righi-Oszillator erzeugt werden, also mit Wellenlängen von der Größenordnung eines Meters.

BRAUN erkannte nun, daß dies nicht richtig sein konnte. Es mußte vielmehr der durch die Funkenstrecke geerdete Luftleiter als Ganzes betrachtet werden (Funkenkugeln + Draht), und diesem System kommt eine Grundeigenwelle zu, die hauptsächlich durch die Länge des Luftdrahtes bestimmt ist. Es war demnach zu erwarten, daß man es beim Marconisender nicht mit den HERTZschen Wellen im engeren Sinne, sondern mit viel längeren Wellen zu tun hat. Diese uns heute wohl als selbstverständlich anmutende Auffassung des ganzen Vorganges war damals nichts weniger als allgemein anerkannt. Die Erkenntnis der richtigen Auffassung ist für die ganze weitere Entwicklung der Radiotelegraphie maßgebend gewesen.

Nun war bereits damals ein Mittel bekannt, um elektrische Schwingungen von solch großer Wellenlänge zu erzeugen: der sog. Kondensatorkreis. Die oszillatorischen Entladungen eines solchen Kreises waren bereits 1862 von FEDDERSEN untersucht worden und später hat LODGE auch Resonanzversuche mit ihnen angestellt. BRAUN erkannte sofort die großen Vorteile, die die Verwendung des Kondensatorenkreises in der Radiotechnik bot. Sein Grundgedanke war der folgende: An einen Sender für drahtlose Telegraphie werden zweierlei Aufgaben gestellt: erstens müssen in ihm möglichst kräftige, hochfrequente Wechselströme erzeugt werden, sodann müssen dieselben in Strahlung, d. h. in elektrische Wellen, umgesetzt werden. Der Marconisender, der im Gegensatz zum Kondensatorkreis kein „geschlossener", sondern ein „offener" Schwingungskreis ist, strahlt vorzüglich. Dagegen ist der Kondensatorkreis, der praktisch selber nicht ausstrahlt, für die Erzeugung von starken, hochfrequenten Strömen dem offenen Schwingungskreis weit überlegen. Durch Vereinigung beider Gebilde entstand nun der berühmte BRAUNsche gekoppelte Sender. In seiner ersten Ausführungsform bestand er im wesentlichen aus einem Kondensatorkreis mit Funkenstrecke, der durch einen Induktor betrieben wurde, und aus dem mit dem Kreise direkt oder induktiv gekoppelten Luftdraht, der jetzt keine Funkenstrecke enthielt. Die im Kondensatorkreis entstehenden Schwingungen erzeugen Ströme im Luftdraht und werden von diesem ausgestrahlt.

Eine ähnliche zwiefache Aufgabe wie beim Senden entsteht auch beim Empfang. Es müssen zunächst die vom Sender ankommenden elektrischen Wellen aufgefangen werden, wobei sie in hochfrequente Ströme umgesetzt werden, die dann ihrerseits die Zeichenwiedergabe im Telephon oder Schreibapparat bewirken. Auch hier eignet sich zum Empfangen der Wellen der Luftdraht, wie ihn POPOFF und MARCONI verwandt hatten, vorzüglich. Er eignet sich aber viel weniger gut für eine zweckmäßige Ausnützung der aufgefangenen Energie, wozu, wie BRAUN erkannte, wiederum der Kondensatorkreis hervorragend geeignet ist. So entstand durch Verbindung des Luftdrahtes mit einem oder mehreren Kondensatorenkreisen der gekoppelte BRAUNsche Empfänger.

Dem BRAUNschen Ideengang weiter nachgehend, sei hier folgendes erwähnt: Beim einfachen Marconisender konnte man bei gegebenem Luftdraht die Energie nur dadurch steigern, daß man zu immer höherer Ladespannung überging. Das zog nach sich eine Vergrößerung der Funkenlänge, was wiederum bei den kleinen Kapazitäten der Luftdrähte eine derartig vergrößerte Energievergeudung im Funken selbst verursachte, daß der Gesamtgewinn an nützlicher Energie illusorisch wurde. Im Gegensatz dazu hat man beim BRAUNschen Sender die Möglichkeit, durch passende Wahl der Kapazität des geschlossenen Kreises die nutzbare Energie in viel stärkerem Maße zu vergrößern. Die Funkenstrecke im Luftdraht fehlt bei der BRAUNschen Anordnung vollständig, sie befindet sich im geschlossenen Kreise, wo sie viel weniger schädlich wirkt. Als BRAUN den Kondensatorkreis in den Sender einführte, konnten diese energetischen Überlegungen als sehr wesentlich erscheinen. Damals lagen nur wenige Messungen über den Energieverbrauch im Funken vor. Spätere Untersuchungen, namentlich die Arbeiten von J. ZENNECK, M. WIEN und anderen haben, wie BRAUN selbst in seinem Nobelvortrag ausdrücklich betont, gezeigt, daß der Versetzung des Funkens aus der Antenne in den geschlossenen Kreis nicht immer die entscheidende Rolle zuzuschreiben ist, die man nach dem anfänglichen Stand der Kenntnisse anzunehmen hatte.

Aber auch abgesehen von dieser Energiefrage bedeutet der BRAUNsche Sender einen ganz wesentlichen Fortschritt gegenüber dem ursprünglichen Marconisender. Es sei nur noch auf folgende Vorteile hingewiesen:

1. Man gewinnt eine größere Freiheit in der Wahl der Höhe der primären Spannung.

2. Die Anforderungen, die an die Isolation der Antenne gestellt werden müssen, sind bei dem BRAUNschen gekoppelten Sender viel geringer als bei dem einfachen Sender, der statisch isoliert werden muß. Diese Tatsache hat große praktische Bedeutung.

Schwingungssysteme mit mehreren Freiheitsgraden, von denen die BRAUNschen gekoppelten Systeme einen Spezialfall darstellen, waren theore-

tisch und auch experimentell mehrfach untersucht worden, namentlich in Anwendung auf mechanische und akustische Probleme (Lord RAYLEIGH, M. WIEN u. a.). Die Schöpfungen BRAUNS belebten das theoretische Interesse und gaben die Mittel, um die Erscheinungen gekoppelter Systeme bequem zu verwirklichen und zu prüfen. Dadurch wurden weitere physikalische Kreise erst vertraut mit den Gesetzen dieser wichtigen Vorgänge, bei denen man auf Resultate stieß, die damals für den theoretisch nicht Geschulten unerwartet erscheinen mußten. Beispielsweise auf das Auftreten zweier voneinander verschiedener Schwingungszahlen bei der Koppelung zweier vollständig gleicher Systeme.

Hier soll bezüglich der Tragweite der BRAUNschen Erfindung noch folgendes bemerkt werden, das uns recht wesentlich erscheint. Es kann meistens geradezu als ein Merkmal einer wirklich grundlegenden Erfindung gelten, daß ihre Bedeutung weit über den unmittelbaren Anwendungszweck hinausragt, für den sie ursprünglich geschaffen worden ist. Dies trifft bei dem BRAUNschen Kondensatorkreis in höchstem Maße zu. Die ganze Technik des Sendens hat seit der Zeit, wo BRAUN den geschlossenen Kreis in die Praxis einführte, viele Wandlungen erfahren. Der Sender mit dem knallenden Funken ist durch den WIENschen Sender ersetzt worden, bei dem die grundlegende Erfindung des Löschfunkens verwandt wurde. Aber beim WIENschen Sender ist gerade der geschlossene Kreis ein unentbehrlicher Bestandteil. Dann kam die Ära der ungedämpften Wellen, zunächst der Poulsensender, dann die durch ALEXANDERSON, GOLDSCHMIDT, GRAF ARCO u. a. ausgebildete Hochfrequenzmaschine und schließlich der auf dem MEISSNERschen Rückkoppelungsprinzip fußende Elektronenröhrensender. Bei keiner dieser Methoden darf der geschlossene Kondensatorkreis fehlen, wenn die Ausnützung günstig sein soll. Seine Funktion ist je nach den Umständen verschieden, aber seine Bedeutung bleibt immer vorherrschend. Analoges gilt auch bezüglich der Empfangsmethoden, die ebenfalls im Laufe der Entwicklung die mannigfachsten Veränderungen erfahren. Die Verwendung der Elektronenröhre hat eine vollständige Umwälzung gebracht und Möglichkeiten geschaffen, an die in den ersten Entwicklungsjahren kaum gedacht werden konnte. Aber auch bei den modernsten Empfangseinrichtungen bleibt die Verwendung des geschlossenen Kondensatorkreises eins der besten und meist benutzten Mittel zur Erzielung einer möglichst hohen Selektivität.

Wenn wir also in der drahtlosen Telegraphie gekoppelte Schwingungskreise mit BRAUNS Namen verknüpfen, so geschieht das mit vollem Recht. Denn, wenn auch der Kondensatorkreis an sich als elektrisches Schwingungssystem bereits lange vor der Radiotelegraphie bekannt war, ist es doch zweifellos BRAUNS Verdienst, seine Bedeutung für diese Technik klar erkannt und ihn in dieselbe eingeführt zu haben.

Kehren wir nun nach dieser Abschweifung zurück zu den Arbeiten, die sich seinerzeit an die Entstehung des BRAUNschen Senders anschlossen. Nachdem sich BRAUNS Ideen gleich bei seinen ersten Versuchen, die hauptsächlich von M. CANTOR und J. ZENNECK ausgeführt wurden, bewährt hatten, entstand eine große Zahl von Nebenfragen, deren Lösung notwendig wurde. Vor allem galt es Meßmethoden und Anordnungen auszuarbeiten, die dem jungen Zweig der Technik angepaßt waren. Die Meßmethoden für Stromstärke, Spannung u. dgl. konnten für die schnellen Schwingungen nicht direkt aus der damaligen Elektrotechnik übernommen werden. Es traten weiter auch ganz neue Anforderungen an die Meßtechnik heran: die Messung von Frequenzen oder Wellenlängen und von logarithmischen Dekrementen. Im Prinzip war die Verwendung der Resonanzerscheinungen für diese Zwecke seit BJERKNES bekannt. Diese Methoden mußten aber für das neue Gebiet (Wellenlängen von anderer Größenordnung, hundertmal größer) ganz wesentlich umgearbeitet werden. Vor allem mußte ein leicht zu handhabender und bequemer Apparat zur Messung von Frequenzen (Frequenzmesser oder Wellenmesser) geschaffen werden. Die Methoden sind in Straßburg von J. ZENNECK u. a. ausgearbeitet worden und sie sind für die Meßtechnik der drahtlosen Telegraphie grundlegend geworden. Sie haben zu dem ersten wirklich praktisch brauchbaren KÖPSEL-DÖNITZschen Wellenmesser geführt, der aus einem Kondensatorkreis mit geeichtem variablem Kondensator und thermischem Stromanzeiger besteht. Der Wellenmesser ist bis heute prinzipiell unverändert geblieben.

Einer der wesentlichsten Bestandteile der Empfangseinrichtung ist bekanntlich der Detektor, d. h. eine Vorrichtung, die die im Empfänger unter dem Einfluß der ankommenden Wellen sich ausbildenden hochfrequenten Ströme anzeigbar macht. Als Detektor wurde in den Anfängen der drahtlosen Telegraphie der sog. Kohärer benutzt. Dieser blieb aber trotz der Bemühungen einer ganzen Reihe von Erfindern ein außerordentlich diffiziler und inkonstanter Apparat, der sich für technische Zwecke nur recht mangelhaft eignete. Es ist somit verständlich, daß die Bestrebungen vieler Forscher darauf hinzielten, neue, besser geeignete Detektoren aufzufinden. Auch hier gebührt BRAUN das große Verdienst, eine Detektorklasse geschaffen zu haben, die, was Einfachheit betrifft, auch heute noch unbesiegt dasteht. Lange Zeit hindurch hatte sie alle anderen Detektoren verdrängt und allein den Empfang beherrscht. Es sind dies die Krystalldetektoren, deren Wirkungsweise wir oben dargelegt haben, und die BRAUN bereits im Jahre 1899 für den Empfang zu verwenden begann.

Neben diesen grundlegenden Arbeiten, welche sich unmittelbar auf die Vorgänge beim Senden oder Empfang bezogen, wurde BRAUNS Interesse durch Fragen beansprucht, die im Zusammenhang mit der Ausbreitung der elektrischen Wellen stehen.

Hierher gehören die Fragen des gerichteten Sendens und Empfangens. Bereits im Jahre 1902 machte BRAUN erfolgreiche Versuche mit einem fast horizontalen (ca. 10° gegen den Horizont geneigten) Empfangsdraht, welche zeigten, daß ein solcher Draht Wellen, die sich in seiner eigenen Richtung fortpflanzen, vorzugsweise empfängt. Damit wurde eine besondere Klasse von Empfangsantennen geschaffen (L-Antennen, Horizontal- oder Erd-Antennen), deren vorläufiger Entwicklungsabschluß heute wohl in der Beverage-Antenne zu erblicken ist. Die Wirkungsweise solcher Antennen beruht bekanntlich auf der unvollkommenen Leitfähigkeit des Erdbodens. Entsprechende Anordnungen — z. B. L-Antennen — sind auch zum gerichteten Senden angegeben worden, doch ist ihre Richtwirkung dafür sehr gering.

Die Aufgabe des gerichteten Sendens ist durch BRAUN von einer ganz anderen Seite aufgefaßt worden. Das Prinzip seiner Methode ist das folgende: es werden zwei oder mehrere getrennte vertikale Luftleiter benutzt, die in mit der Wellenlänge vergleichbaren Abständen aufgestellt sind und die mit phasenverschobenen Schwingungen gespeist werden. Man kann die Abstände oder die Phasenverschiebungen derart wählen, daß die Strahlung vorzugsweise nach einer bestimmten Richtung erfolgt. Derartige Versuche wurden in den Jahren 1904 und 1905 auf dem Straßburger Exerzierplatz Polygon durchgeführt. Das Feld wurde in Entfernungen, die einige Wellenlängen betrugen, mit einer Bolometeranordnung gemessen. Das Resultat entsprach den Erwartungen. Diese theoretisch einwandfreie Methode für gerichtetes Senden hat bis jetzt für lange Wellen keinen Eingang in die Technik gefunden, hauptsächlich wohl auch deshalb, weil sie immerhin ziemlich komplizierte und kostspielige Anlagen erfordert. Es ist aber nicht ausgeschlossen, daß die Technik bei der weiteren Entwicklung der Radiotelegraphie, namentlich des kurzwelligen Senders, noch einmal auf den BRAUNschen Gedanken zurückgreift. Ähnliche Anordnungen sind übrigens bereits verwirklicht worden.

Im letzten Vorkriegsjahr beschäftigte sich BRAUN wieder mit dem gerichteten Empfang. Diesmal in Verbindung mit anderen allgemeinen Fragen. Es sollten zum Auffangen der elektrischen Wellen geschlossene Schwingungskreise benutzt werden, im Gegensatz zu den bis dahin allgemein benutzten offenen Kreisen. Bei diesen Versuchen entstand 1913 in Straßburg die Rahmenantenne, die heute als Empfangsantenne weiteste Verbreitung gefunden hat. Der Rahmenempfang bietet gegenüber dem Empfang durch offene Schwingungskreise wesentliche Vorzüge. Man kann sich bei ihm freimachen von Störungen, die aus bestimmten Richtungen kommen, und hat somit größere Störungsfreiheit. Weiter hat man die Möglichkeit der drahtlosen Peilung usw. Diese Vorzüge, welche heute wohl allgemein anerkannt sind, wurden von BRAUN klar erkannt. In seinem ersten Bericht finden sich schon Versuche zur Bestimmung der Richtung der vom Eiffelturm ausgesandten Wellen. Daran knüpften sich dann Untersuchungen über die Richtungsbestimmung des elektrischen Vektors im Felde der ankommenden Wellen. Weiter wurde zum ersten Male die Feldstärke in Wellen der drahtlosen Telegraphie (ebenfalls Eiffelturmwellen in Straßburg) dem absoluten Wert nach bestimmt. Heute ist die Kenntnis der Feldstärke der am Empfangsort ankommenden Wellen unentbehrlich geworden zur Beurteilung des Funktionierens der Stationen. Allen modernen Methoden zu ihrer Messung liegt im wesentlichen die BRAUNsche Anordnung zugrunde.

Wir haben versucht einen kurzen Abriß von BRAUNS Arbeiten auf dem Gebiete der drahtlosen Telegraphie zu geben. und wir haben uns bemüht zu zeigen, wie grundlegend seine Ideen auch für die moderne Entwicklung der Radiotechnik geblieben sind. Faßt man das oben Gesagte zusammen, so wird man nicht umhin können, der BRAUNschen Leistung eine bahnbrechende Rolle in der Entwicklung der drahtlosen Telegraphie zuzuschreiben. BRAUN hat aufklärend und schöpferisch auf dem gesamten Gebiet der Radiotelegraphie gewirkt und sein Name wird stets unter den allerersten bleiben in der Entwicklungsgeschichte dieses schönen Anwendungsgebietes der Physik.

Die Arbeiten, die BRAUN auf dem Gebiete der elektrischen Schwingungen ausführte, gaben ihm Anregung zu einer ganzen Reihe anderer Arbeiten, die in einem gewissen Zusammenhang damit stehen. So stellte er sich die Aufgabe zur Erscheinung der anisotropen Brechung der Optik das Analogon bei HERTZschen Wellen herzustellen (Backsteingitter). So fand er ferner zu einer Erscheinung, die bei HERTZschen Wellen bekannt und vielfach untersucht war, das optische Analogon. Es handelt sich um den HERTZschen Gitterversuch, der in seiner klassischen Form bekanntlich wie folgt durchgeführt wird: man läßt eine linear polarisierte elektrische Welle auf ein Drahtgitter auffallen, dessen Drahtabstände klein gegen die Wellenlänge sind. Wenn der elektrische Vektor senkrecht zu den Gitterdrähten steht, wird die Welle fast ungeschwächt durchgelassen. Schwingt dagegen der elektrische Vektor parallel zu den Drähten, so wird die Welle stark reflektiert und nur schwach durchgelassen. Ein Gitter mit der für die sichtbare Lichtstrahlung nötigen Feinheit ist mechanisch nicht herstellbar. BRAUN machte nun die höchst interessante Beobachtung, daß die Metallbeschläge, die man auf Glas erhalten kann durch Zerstäubung von dünnen Drähten mittels starker Kondensatorentladung, ein Verhalten zeigen, das dem Verhalten des HERTZschen Gitters völlig analog ist. Läßt man linear polarisiertes Licht durchgehen, dessen Polarisationsebene parallel ist zur Achse des zerstäubten Drahtes, so erscheint das Präparat, das man im Mikroskop mit schwacher Vergrößerung beobachtet, dunkel. Dreht man den Polarisator um 90°, so hellt sich das Feld auf. BRAUN hat diese

von ihm entdeckte Erscheinung gedeutet, indem er annahm, daß der Metallniederschlag eine feine submikroskopische Gitterstruktur aufweist, und er hat diese Erklärung durch weitere, fein ausgedachte Experimente gestützt. Diese letzten Versuche (namentlich die Dissertation von UNGERER) erscheinen beweisend dafür, daß man es hier mit dem Hertzschen Gitterversuch im sichtbaren Spektrum zu tun hat. BRAUN hat in einer Reihe von Arbeiten versucht, die Erscheinung zur Analyse feinster Strukturen und organischer Gebilde anzuwenden.

Wir wollen uns begnügen mit diesen Beispielen, durch die BRAUNS Untersuchungen und Entwürfe zu neuen Arbeiten auf dem Grenzgebiete zwischen Optik und Elektrizitätslehre keineswegs erschöpft sind, und wollen damit unseren Abriß über BRAUNS Forschungsarbeiten schließen.

Als Lehrer wird BRAUN allen, denen es vergönnt war, in seinem Institut zu arbeiten, unvergeßlich bleiben. Er überließ es jedem, nach seiner eigenen Individualität zu handeln und seiner Neigung nachzugehen. Dabei verfolgte er alle Arbeiten mit fortwährendem Interesse und unterstützte stets mit Rat und Tat. Und sein Rat war mehr als aufklärend: BRAUN war ein Voraussehen der Erscheinungen und ein Gefühl des Experimentierens eigen, die nicht erlernt werden können und die nur auserwählten Forschernaturen gegeben sind. Diese Eigenschaften, denen er zum großen Teil seinen Forschererfolg verdankt, kamen auch seinen Schülern zugute.

Als Persönlichkeit wirkte BRAUN durch seine Natürlichkeit und Freundlichkeit und durch sein außerordentliches Wohlwollen ungemein anziehend.

BRAUNS Forscherleistungen sichern ihm in der Wissenschaft einen hohen Ehrenplatz, und alle, die das Glück hatten, mit ihm in nähere Beziehungen zu treten, werden das Andenken des großen, welterfahrenen, klugen und doch so gütigen Mannes stets mit Liebe und Ehrfurcht bewahren.